

VŠB -Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Petr Piegrzym

VŠB -Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Nabíječka akumulátorů s fázovým řízením
Phase Control Charger

2015

Petr Piegrzym

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Piegrzym**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R003 Aplikovaná elektronika
Téma: Nabíječka akumulátorů s fázovým řízením
Phase Control Charger

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor řešení nabíječek s ohledem na jednotlivé druhy akumulátorů
2. Navrhněte a realizujte nabíječku s fázovým řízením s možností regulace nabíjecího proudu
3. Ověřte funkci nabíječky a na vybraném druhu akumulátoru změřte průběhy nejdůležitějších veličin

Seznam doporučené odborné literatury:

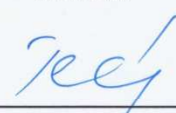
Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 4. května 2015



Děkuji Doc. Ing. Petru Palackému, Ph.D. za věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Špičkovi za cenné rady při výrobě zařízení.

Abstrakt

Náplní práce je vytvořit nabíječku akumulátoru s fázovým řízením. S možností nastavení a zobrazení požadovaného proudu. Práce popisuje jednotlivé typy akumulátoru, jejich vlastnosti a požadavky na nabíjení. V praktické části se zabývám spínáním tyristoru ve výkonové části a jeho galvanického oddělení od řídicí části. Je zde rovněž zobrazen vliv spínané indukované zátěže na průběh nabíjecích veličin.

Klíčové slova

Akumulátor, nabíječka, procesor, AD převodník, spínání tyristoru, detekce nuly

Abstract

The aim of this work is to create a battery charger with phase control. With the ability to set and display the required current. The work describes different types of batteries, their characteristics and charging requirements. In the practical part solid by switching thyristor and his galvanic isolation from the control part. There is also shown the influence of switching the load induced on the course of charging quantities.

Key words

Battery, charger, processor, AD converter, switching thyristor, detecting zero

Seznam použitých symbolů a zkratk

A_L	–	součinitel indukčnosti hrníčkových jader	[H]
B	–	magnetická indukce	[T]
C	–	kapacita	[F]
I	–	elektrický proud	[A]
I_{mag}	–	magnetizační proud	[A]
L	–	indukčnost	[H]
N_1	–	počet primárních závitů	[závit]
N_2	–	počet sekundárních závitů	[závit]
P	–	elektrický výkon	[W]
R	–	elektrický odpor	[Ω]
S_e	–	ekvivalentní střední průřez jádra	[m ²]
t	–	čas	[s]
t_z	–	doba zapnutí	[s]
t_{zapmax}	–	maximální doba zapnutí	[s]
U_S	–	velikost sekundárního napětí transformátoru TR1	[V]
u_1, U_1	–	střídavé napájecí napětí	[V]
U_2	–	výstupní napětí zdroje	[V]
U_{DD}	–	úbytek napětí na diodovém můstku	[V]
U_{LD}	–	úbytek napětí na led diodě	[V]
U_T	–	úbytek napětí na přechodu tranzistoru	[V]
U_{tl}	–	napětí na tlumivce	[V]
α	–	řídící úhel	[°]

Obsah

Obsah	- 5 -
1. Úvod.....	- 6 -
2. Akumulátor	- 7 -
2.1. Rozdělení akumulátorů	- 7 -
2.2. Parametry a vlastnosti akumulátorů	- 7 -
2.3. Nabíjení.....	- 8 -
2.3.1. Olověný akumulátor.....	- 8 -
2.3.2. Alkalický akumulátor.....	- 9 -
3. Nabíječky	- 10 -
3.1. Rychlost nabití	- 10 -
3.2. Energetická účinnost	- 10 -
3.3. Korekce nabíjení a teploty	- 10 -
3.4. Nabíjecí charakteristiky	- 11 -
3.4.1. Nabíjení podle charakteristiky U.....	- 11 -
3.4.2. Nabíjení podle charakteristiky I.....	- 12 -
3.4.3. Nabíjení podle charakteristiky W.....	- 13 -
3.4.4. Nabíjení nesymetrickým střídavým proudem	- 14 -
3.5. Plné nabití akumulátoru	- 15 -
4. Návrh a realizace nabíječky	- 16 -
4.1. Zdroj.....	- 16 -
4.2. Detekce nuly	- 18 -
4.3. Řídící část.....	- 19 -
4.3.1. Tlačítka.....	- 20 -
4.3.2. Displej	- 21 -
4.3.3. Řízení tyristoru.....	- 22 -
4.3.4. Podpůrné obvody procesoru.....	- 25 -
4.4. Výkonová část.....	- 26 -
4.5. Regulace.....	- 27 -
4.6. Programování	- 28 -
5. Měření, ověření funkčnosti	- 29 -
5.1. Spínací pulzy tyristoru, signál průchodu napětí nulou.....	- 29 -
5.2. Spínací pulzy tyristoru, napětí na primárním vinutí transformátoru TR2.....	- 31 -
5.3. Napětí na sekundárním vinutí transformátoru TR2, nabíjecí proud.....	- 32 -
5.4. Napětí na akumulátoru, nabíjecí proud	- 33 -
6. Závěr	- 34 -
7. Literatura	- 35 -

1. Úvod

Akumulátor chápeme jako elektrochemický zdroj energie, jehož historie sahá do roku 1800. Tehdy byl sestaven první článek tzv. Voltův sloup, podle vynálezce A. Volta. Následovali další vynálezci jako Sinisteden a Planté, kteří sestavili akumulátor olověného typu. Akumulátory se neustále vyvíjely zejména z důvodů uplatnění v automobilovém průmyslu a rozvoji radiotechniky až do současnosti. V dnešní době se můžeme setkat s akumulátorem téměř ve všech odvětvích průmyslu a každodenního života. Jedná se o velice univerzální a rozmanité zdroje elektrické energie. Svou pestrou škálou výkonů od jednotek mW až po desítky MW se uplatňují ve většině moderní techniky, ať už jako záložní, pomocné nebo napájecí zdroje. S rostoucím použitím a rozvojem těchto elektrochemických zdrojů proudu je spojený samozřejmě požadavek na jejich funkčnost a údržbu. Jedná se tedy zejména o jejich nabíjení. Velká rozmanitost akumulátorů sebou přináší odlišné požadavky nabíjení. Máme několik základních charakteristik a typů nabíječek, které se dají do určité míry vhodně kombinovat a nastavit tak dle požadavků pro konkrétní akumulátor. V první kapitole budou teoreticky popsány základní typy akumulátorů a jejich požadavky na nabíjení. V další teoretické části se budu věnovat jednotlivým typům nabíječek. Následně popíši postup při návrhu, realizaci a zprovoznění nabíječky s fázovým řízením. V závěru bakalářské práce provedu měření a ověření funkčnosti zkonstruované nabíječky.

2. Akumulátor

Akumulátor je zdroj energie, který dodává stejnosměrný proud do zátěže a disponuje možností opětovného nabití. Tyto zdroje jsou převážně založeny na principech chemické a tepelné akumulace energie. My se ovšem zaměříme na princip chemické akumulace, kde nás bude zajímat přímá přeměna. Rovněž existuje i nepřímá přeměna, kterou můžeme pozorovat v tepelných elektrárnách. Zde spalováním fosilních paliv vzniká tepelná energie ohřívající vodu, z které pára roztáčí turbínu spojenou s alternátorem. U přímé přeměny dochází v důsledku vybíjení k chemické reakci aktivních materiálů s následným uvolněním reakční energie ve formě stejnosměrného elektrického proudu. K této reakci je potřeba, aby akumulátor vždy obsahoval dvě elektrody, které jsou uvnitř spojeny prostřednictvím roztoku (elektrolytu).

2.1. Rozdělení akumulátorů

Existuje široká škála kritérií, podle nichž lze tyto zdroje rozdělit. V praxi se nejčastěji setkáváme s rozdělením na tři kategorie, a to články primární, sekundární a palivové. Primární nelze nabíjet a jsou určeny pouze pro jedno vybití. V sekundárních článcích lze po vybití opět převést reaktanty v aktivní materiál přivedením elektrického proudu z vnějšího okruhu. Palivové články, jak již název napovídá, pracují na principu tzv. studeného spalování paliva za tvorby elektrického proudu.

Pro nás jsou nejpodstatnější sekundární články, které podle použitého elektrolytu dělíme na:

- kyselé (olověné),
- alkalické (Ni-Cd, Ni-Fe, Ni-Zn, Ni-MH, Ag-Zn).
- nevodnými, tuhými nebo roztavenými elektrolyty

Mezi další způsoby rozdělení řadíme: použití, životnost, technologii výroby, tvar atd.

2.2. Parametry a vlastnosti akumulátorů

Jmenovité napětí akumulátoru je udáváno ve voltech. Velikost tohoto napětí se u jednoho oloveného článku pohybuje okolo 2V, proto se tyto články řadí do tzv. akumulátorových baterií. Její nominální hodnoty jsou 6 V, 12 V, 24 V, 36 V, 48 V a 80 V. Každý akumulátor má rovněž minimální hodnotu napětí na článek (okolo 1,75 V), při níž je akumulátor zcela vybit. Dalším pojmem je proud akumulátoru, který je schopen napájet daný obvod. S tím se je spojena správná možnost dimenzovat akumulátor pro potřebnou zátěž. Vnitřní odpor akumulátoru je tvořen odpory jednotlivých článků, elektrolytem a odpory elektrod. Technologie výroby se snaží docílit co nejnižšího odporu, aby se stal akumulátor co možná nejvíce „tvrdým“ zdrojem. Velice důležitým parametrem je jmenovitá kapacita akumulátoru, udávaná v ampérhodinách (Ah) a označená

symbolem „C“. Veličina určuje jmenovitý proud, který je akumulátor schopný dodávat do obvodu po dobu 10 nebo 20 hodin, aniž napětí na článku klesne pod určitou úroveň. Velikost této úrovně a teplota, při které je tato hodnota platná, vyplývá z příslušné normy. Příkladem je $C_{20} = 55 \text{ Ah}$. Tato kapacita je rovněž jedním z parametrů pro určení velikosti nabíjecího proud. Neméně důležitým parametrem pro nabíjení je plynovací napětí. Jedná se o napětí, při kterém se v důsledku elektrolýzy elektrolytu vytváří plyn. Poslední vlastností je životnost, jež se vyjadřuje počtem cyklů (jeden cyklus znamená nabití + vybití). Počet cyklů udává dobu, během které je baterie funkční při dodržení provozních podmínek. Životnost lze značně prodloužit správným nabíjením akumulátoru. Zbytečným přebíjením nebo naopak nedostatečným nabíjením klesá prudce doba jeho použitelnosti. Výrobce rovněž uvádí hmotnost a rozměry, které nás ovšem z hlediska elektrických vlastností nijak nezajímají. [2], [3]

2.3. Nabíjení

Jedná se o obnovu elektrického náboje akumulátorů. Požadované parametry pro nabíjení akumulátorů se liší podle konkrétního typu. Základním požadavkům pro olověné a alkalické akumulátory se budeme věnovat níže. Jednotlivé druhy nabíjecích charakteristik a nabíječek samotných jsou rozebrány v kapitole 3.

2.3.1. Olověný akumulátor

Pro dobíjení tohoto typu akumulátoru jsou stanoveny velikosti proudu na 0,1 až 0,3 C, pokud výrobce neudává jinou velikost. Takto akumulátor dobíjíme do nárůstu na plynovací napětí 2,4 V/článek. Poté u akumulátoru se zaplavenými elektrodami snižujeme proud na 0,05 až 0,06 C, nabíjení ukončujeme po dosažení plného nabití, které nastává při dodání přibližně o 15% většího náboje, než kolik bylo vybito.

Akumulátory řízené ventilem nabíjíme pouze do velikosti plynovacího napětí, tj. 2,4 až 2,47 V/čl. při teplotě 20 °C. Překročením tohoto napětí dochází k poškození akumulátoru. Snížením hodnoty napětí, prodlužujeme dobu nabíjení.

Trvalé dobíjení je režim, ve kterém nabíječka neustále dodává náboj, který vyrovnává ztráty kapacity akumulátoru, způsobené odběrem zátěže. Velikost dobíjecího proudu se odvíjí od konstrukce akumulátoru, jeho stáří, hustoty elektrolytu, teploty prostředí a nastavené hodnoty konstantního napětí. Obvykle se pohybuje v rozmezí 0,0002 až 0,001 násobku jmenovité kapacity. [2]

2.3.2. Alkalický akumulátor

Nabíjení provádíme proudem 0,2 C po dobu 7,5 hodin, akumulátoru dodáme energii 150 % jmenovité kapacity. Při snížení proudu na 0,1 násobek, musíme prodloužit dobu nabíjení na 15 hodin.

V režimu prodlouženého nabíjení je velikost proudu 0,2 C, dobíjení však trvá patnáct hodin, během kterých akumulátor absorbuje trojnásobek své kapacity. Tento režim se využívá při prvním nabíjení nového nebo při nabíjení hluboce vybitého akumulátoru.

Po 10 až 12 cyklech klasického nabíjení použijeme vyrovnávací nabíjení, které spočívá v dodání 200 % kapacity akumulátoru pomocí proudu 0,2 C, a to po dobu deseti hodin. Tímto nabitím vyrovnáme vzniklé rozdíly kapacity v jednotlivých člancích.

Stejně jako u olověných akumulátorů i zde je režim udržovacího nabíjení, ve kterém je akumulátor neustále připojen k nabíječce. Dobíjí se proudem 0,002 až 0,006 C, pro pokrytí ztrát samovolným vybíjením. Používá se u akumulátorů sloužících jako pohotovostní (záložní) zdroje proudu.

Intervalové nabíjení podobně jako udržovací nabíjení slouží k trvalému zachování kapacity nabitého akumulátoru. Nabíjení se ovšem provádí pouze v určitých intervalech například každých 24 hodin do nárůstu napětí na 1,55 V/článek, následně se nabíjení přeruší. U akumulátoru typu Ni-Cd je tento druh nabíjení výhodnější než udržovací. [2]

3. Nabíječky

Nabíječky jsou zařízení sloužící pro nabíjení akumulátoru, zprostředkují tedy obnovu jejich elektrického náboje. Jelikož je životnost akumulátoru podstatněji závislá na způsobu nabíjení než vybíjení, je nezbytné pro daný typ akumulátoru správně zvolit nabíjecí charakteristiku a délku nabíjení příslušné nabíječky. Mnohé moderní („chytré“) nabíječky již dovedou rozpoznat typ baterie a pomocí příslušné nabíjecí charakteristiky, kterou během nabíjení upravují podle požadavku akumulátoru, efektivně nabíjet. Ne všechny jsou však tak inovativní, proto si v následujících kapitolách popíšeme jednotlivé požadavky na nabíječky, jejich charakteristiky a typy nabíjení. Charakteristikou nabíječky je myšlena závislost výstupního napětí na nabíjecím proudu neboli voltampérová charakteristika nabíječky. Během veškerých nabíjecích procesů musíme dodržovat správné polování elektrod, popřípadě udržovat dostatečné množství elektrolytu.

3.1. Rychlost nabití

S požadavkem na kvalitu nabíjení je spojena i doba nabíjení. Podle použití akumulátoru převládá jeden z výše uvedených požadavků. Velký důraz na rychlost nabíjení je kladen nejen v průmyslových provozech, ale rovněž v elektromobilech a dalších elektricky poháněných dopravních prostředcích. Pro tyto požadavky jsou speciálně vyrobené nabíječky. Patříčně zkrácená doba nabíjení je umožněna velkými nabíjecími proudy s optimálně zvolenou nabíjecí charakteristikou. Tyto nabíječky obsahují mikroprocesor, který dokáže upravovat velikost nabíjecího proudu v závislosti na teplotě a dalších nabíjecích parametrech. Pokusíme-li se však u obyčejných nabíječek zrychlit dobu nabíjení pomocí zvýšeného nabíjecího proudu, může dojít ke značnému snížení životnosti daného akumulátoru. Na určení rychlosti nabití akumulátoru se podílí hned řada faktorů: stáří akumulátoru, jeho typ, hloubka vybití a velikost kapacity, použitý typ nabíjecí charakteristiky, atd.

3.2. Energetická účinnost

Při rostoucích cenách elektrické energie musíme brát i ohled na účinnost nabíječky. V dnešní době by u moderních nabíječek neměla klesnout pod 90 %. Obvykle se pohybuje v rozmezí 93 % - 95 %.

[2]

3.3. Korekce nabíjení a teploty

Chceme-li akumulátor efektivně nabíjet, musíme nabíjecí proces regulovat dle stavu akumulátoru, a to především s ohledem na teplotu, průběh napětí, proudu a kompenzaci úbytku. Velikost teploty je velmi významná vzhledem k rychlému nabíjení, neměla by překročit 40 °C. Regulování

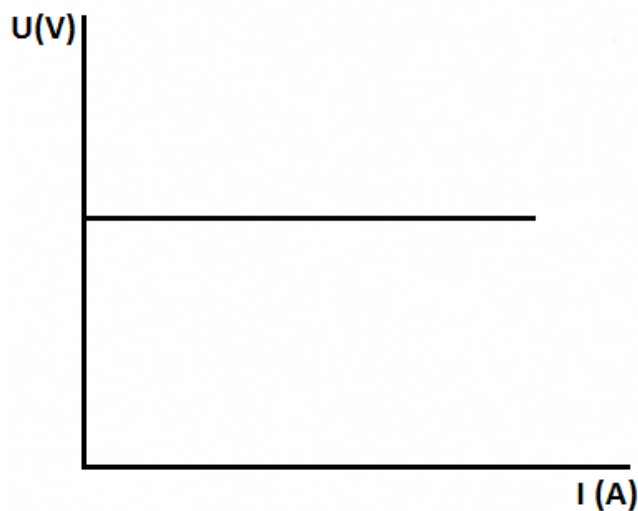
nabíjecího procesu s ohledem na velikosti teploty se nazývá teplotně kompenzované nabíjení. Kompenzace úbytku napětí se provádí zejména pro přívodní vodiče, které mohou u centrálních nabíječen dosahovat až desítky metrů ve vzdálenosti od nabíjené soustavy.

3.4. Nabíjecí charakteristiky

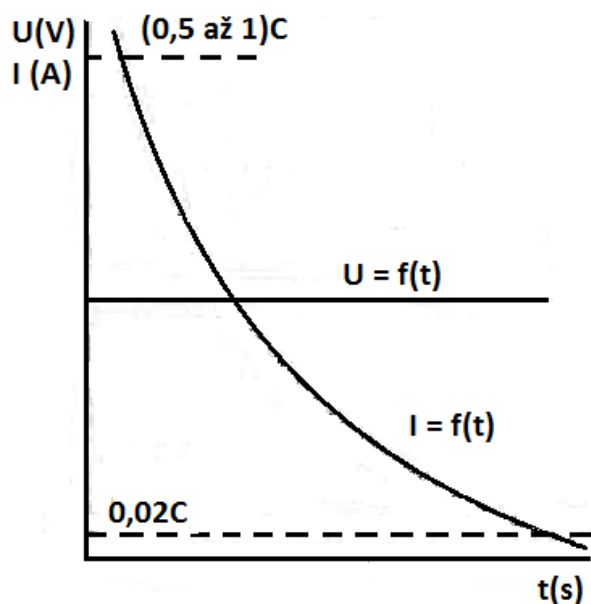
Udávají voltampérovou charakteristiku nabíječky, vycházejí tedy z jejího konstrukčního provedení. Rozlišujeme tři kategorie nabíječek s charakteristikou: konstantního napětí (U), konstantního proudu (I) a klesajícího proudu (W). Jednotlivé charakteristiky lze kombinovat a rozšířit o automatické vypínání (a) a samočinné přepínání na jinou charakteristiku (o). Automatické vypínání se u modernějších přístrojů určuje nikoliv podle času, ale podle velikosti dodaného náboje, který je předem nastaven.

3.4.1. Nabíjení podle charakteristiky U

Nabíječka je charakterizována malým vnitřním odporem. Jedná se o nabíjení akumulátoru konstantním napětím. Velikost tohoto napětí nastavujeme podle velikosti plynovacího napětí akumulátoru, které nesmí být překročeno o více než 1%. Nabíjení probíhá velkým počátečním proudem, který v průběhu procesu exponenciálně klesá. Maximální proud dosahuje ze začátku velikosti 0,5 až 1 násobku jmenovité kapacity. Jakmile se napětí na akumulátoru při jeho dobíjení zvyšuje, klesá dobíjecí proud až na konečnou velikost asi 0,002 násobku kapacity. Během celého procesu dobíjení je nutné kvůli vysokým proudům hlídat teplotu elektrolytu. Tato teplota by neměla překročit 40 °C, jinak může dojít k poškození akumulátoru, a to zejména starších typů. Výhodou tohoto typu nabíjení je rychlá počáteční obnova elektrického náboje a přítomnost velmi malého proudu na konci procesu, který znemožňuje poškození kladné elektrody a také zbytečně nepřebíjí akumulátor. Nevýhodou je však nutnost použití výkonových usměrňovačů, které jsou v závěru dobíjení využity jen minimálně. [1], [5]



Obr. 1.1 Voltampérová charakteristika nabíječky s konstantním napětím

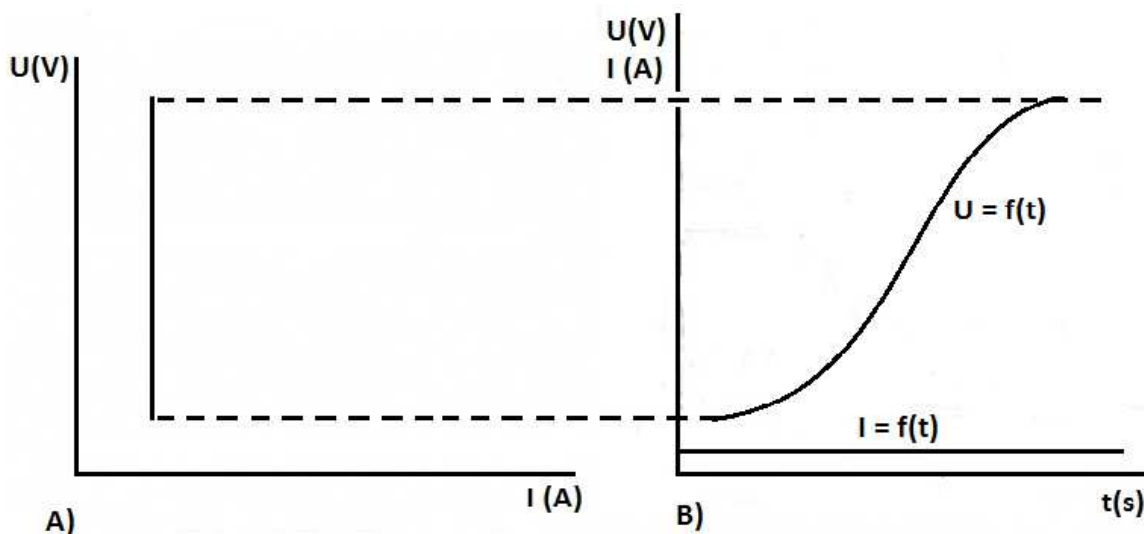


Obr. 1.2 Závislost nabíjecího proudu a napětí na čase

3.4.2. Nabíjení podle charakteristiky I

Nabíjení akumulátoru se od počátku provádí konstantním proudem. Rychlost nárůstu napětí nabíjeného akumulátoru je závislá na jeho stáří, typu, teplotě okolí a intenzitě nabíjecího proudu. Velikost proudu volíme násobkem jmenovité kapacity $0,1 \times C$. Použijeme-li však dvoustupňové nabíjení, tak nejdříve nastavíme velikost proudu na $0,12 \times C$. Danou velikostí dobíjíme akumulátor až do plynovacího napětí na článku tj. $2,4 \text{ V}$, pak snížíme velikost proudu na $0,06 \times C$

a pokračujeme do 100% nabití. Výhodou dvoustupňového režimu je šetrnější zacházení s akumulátorem, jelikož na konci nabíjení je velikost proudu mnohem menší než u jednostupňového. Nedochází k přebíjení a přetěžování kladných aktivních hmot akumulátoru. Proto se při jednostupňovém nabíjení často používá charakteristika, kdy při plném nabití dochází k automatickému přerušení nabíjení. Předností charakteristiky I je lineární obnova náboje akumulátoru, a tím i snadná kontrola energie dodané nabíječkou. Výkon usměrňovače je zde využit po celou dobu nabíjení, oproti charakteristice U, avšak doba nabíjení je mnohem delší. [3], [5]

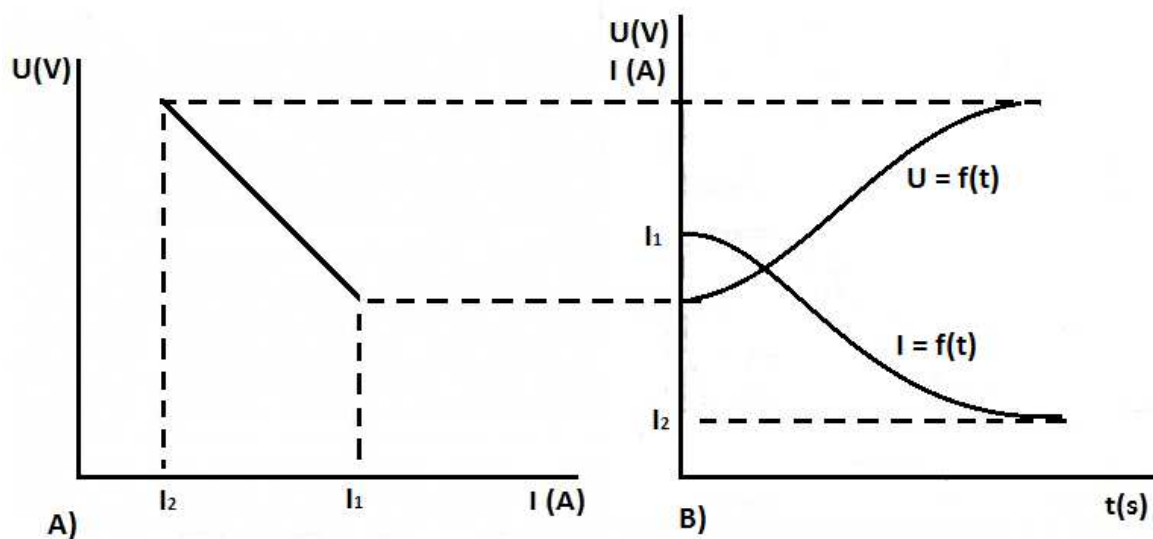


Obr. 2 A) Voltampérová charakteristika nabíječky s konstantním proudem

B) Závislost nabíjecího proudu a napětí na čase

3.4.3. Nabíjení podle charakteristiky W

Tento typ nabíjení se vyznačuje nabíjecím proudem, který během nabíjení klesá v závislosti na zvětšujícím se svorkovém napětí akumulátoru. Velikost poměru mezi počátečním a koncovým proudem je označován jako strmost nabíječky. Hodnoty těchto mezních proudů leží mezi charakteristikami U a I, tedy $0,2 \times C$ až $0,05 \times C$. Nabíječky s touto charakteristikou, jsou vhodné pro rychlé nabíjení. Strmost nabíjení je ovšem pro různé akumulátory odlišná a proto je těžší konstrukce univerzálního zařízení. Handicapem těchto nabíječek je závislost výstupních parametrů na kolísání síťového napětí, a tudíž i obtížné určení doby nabíjení. Rovněž jako u charakteristiky U je i zde výrazné proudové zatížení při zapojení vadného akumulátoru, proto je nezbytné tuto nabíječku jistit. [3]



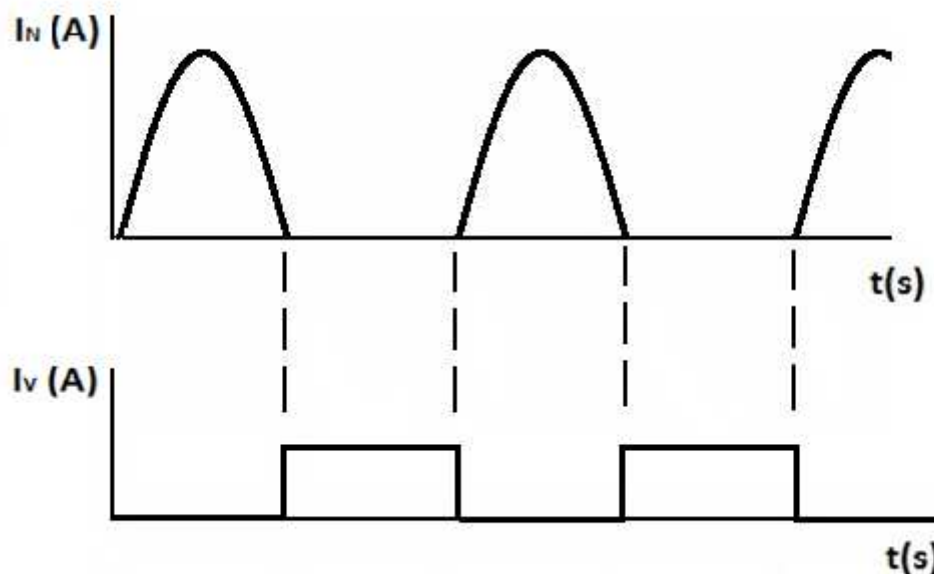
Obr. 3 A) Voltampérová charakteristika nabíječky sklesajícím proudem (W)

B) Závislost nabíjecího proudu a napětí na čase

Pro ideální nabíjení se používají nejrůznější kombinace předchozích tří charakteristik s využitím jejich vzájemných přechodů a automatického vypínání. Jedna z nejpoužívanějších kombinací je IU Ia. Tato charakteristika je využívána především k nabíjení olověných trakčních soustav v co nejkratším čase.

3.4.4. Nabíjení nesymetrickým střídavým proudem

Jedná se o nabíjení akumulátoru střídavým nesymetrickým proudem, nejlépe nefiltrovaným jednocestně usměrněným. Nabíjecí intervaly se střídají s vybíjecími pulzy, kdy proud teče opačným směrem a akumulátor se částečně vybíjí. Doporučený poměr mezi velikostí vybíjecího a nabíjecího proudu je 1 : 5 až 1 : 10 ($I_V : I_N$). Předností tohoto typu nabíjení jsou především vybíjecí proudy, které mají depolarizační účinky na elektrodách a vedou ke zvýšení nabíjecí schopnosti akumulátoru. Podstatně se tím zkracuje doba nabíjení a také je možné „oživit“ akumulátor, který je hluboce vybit (pod 1,7 V/čl), ale nemá znehodnoceny nebo vyčerpány aktivní hmoty na deskách. Pro zajištění vybíjecího proudu se k výstupním svorkám nabíječky paralelně připojuje rezistor, žárovka. Tyto zátěže musí být po dokončení nabíjecího procesu odpojeny, jinak by docházelo k vybíjení akumulátoru. [1], [3]



Obr. 4 Průběhy nabíjecích, vybíjecích proudů

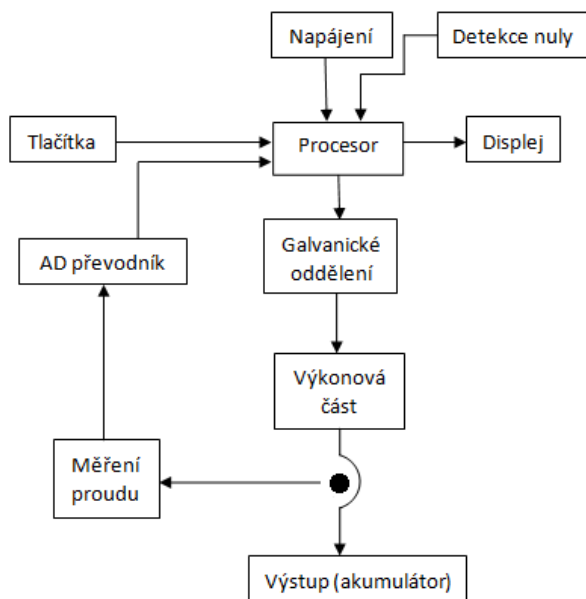
3.5. Plné nabití akumulátoru

Znaky pro určení plného nabití se u jednotlivých typů akumulátorů liší. Olověné akumulátory při nabíjení dále nezvětšují své svorkové napětí a hustota elektrolytu je rovněž neměnná. Niklokadmiový typ je plně nabit, je-li napětí „na prázdko“ u jednoho článku 1,4 až 1,48 V. Tato hodnota napětí by měla u stříbrozinkového akumulátoru dosahovat 2,1 V na článek. Obecně platí, že musí být dosaženo plné kapacity. [1]

Po dosažení výše uvedených požadavků je vhodné akumulátor od nabíjecí soustavy odpojit, aby nedocházelo k jeho zbytečnému přebíjení a následnému zkrácení životnosti. Rovněž musíme brát v potaz samovybíjení, kdy dochází ke ztrátě kapacity zdroje samovolnou vnitřní reakcí. Vybití akumulátoru těmito vnitřními pochody nastává v jednotkách měsíců. Dobu lze značně ovlivnit prostředím, ve kterém akumulátor skladujeme. S rostoucí teplotou okolí je doba zkrácená, tudíž bychom měli akumulátor uchovávat v suchém a nevytápěném prostoru.

4. Návrh a realizace nabíječky

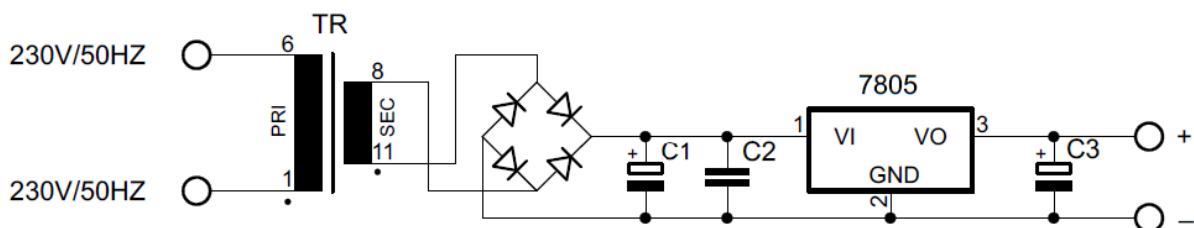
V následující kapitole popíšu jednotlivé kroky při výrobě a zprovoznění nabíječky akumulátoru. Nabíječka bude realizována s fázovým řízením a možností regulace nabíjecího proudu. Voltampérovou (nabíječkovou) charakteristiku je možné podle softwaru měnit na požadovaný typ. Nabíječku jako celek můžu rozdělit na několik částí a to: zdroj, detekci nuly, řídicí část, výkonovou část a regulaci.



Obr. 5 Blokové schéma nabíječky

4.1. Zdroj

Tak jako každé elektronické zařízení i nabíječka vyžaduje svůj zdroj. Při návrhu zdroje si musíme uvědomit, co jím budeme napájet, jak velký bude proudový odběr a jaké velikosti výstupních napětí budeme požadovat. Zdroj budu využívat k napájení řídicí části a detekce nuly, veškeré součástky v těchto obvodech vyžadují napájení +5V. Jelikož požadují pouze jednu polaritu napětí, jedná se o nesymetrický zdroj.



Obr. 6 Schéma zapojení stabilizovaného zdroje

Transformátor byl použit 9 V/1 A, velikost proudu byla zvolena s dostatečnou rezervou pro odběr napájeného obvodu. Následuje usměrňovací můstek, na kterém vznikne úbytek cca 1,2 V. Elektrolytický kondenzátor C_1 , slouží k vyhlazení usměrněného napětí. Z důvodů výrazné odchylky usměrněného napětí od napětí stabilizátoru jsem zapojil kondenzátor C_2 . Kapacita C_3 byla začleněna do obvodu pro zvýšení výstupní stability napětí, zlepšení přechodové charakteristiky. Velikost tohoto kondenzátoru je stanovena v aplikačním schématu obvodu 7805. Tento integrovaný obvod je určen k transformaci vstupního napětí na konstantní výstupní hodnotu 5V. Značný úbytek napětí na něm vzniklý sebou přináší výrazné oteplení, proto bylo nezbytné obvod připojit na chladič.

Velikost ztrátového výkonu určím pomocí vztahu (1):

$$P = (\sqrt{2} * (U_S - U_{DD}) - U_2) * I \quad (1)$$

$$P = (\sqrt{2} * (9 - 1,2) - 5) * 1 = 6W$$

Výpočet požadovaného efektivního sekundárního napětí transformátorů:

$$U_1 = \frac{U_{2MAX} + U_{DD}}{\sqrt{2}} = \frac{8 + 1,2}{\sqrt{2}} = 6,5V \quad (2)$$

U_S – velikost sekundárního napětí transformátoru

U_{DD} – velikost úbytku napětí na diodovém můstku

U_2 – výstupní napětí zdroje

U_{2MAX} – výstupní napětí obvodu 7805 + rezerva 3V

I – proud transformátoru

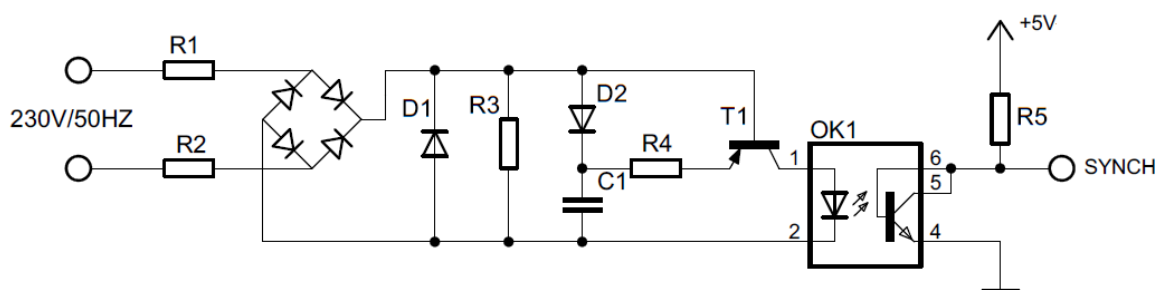
Tabulka 1 - Seznam použitých součástek pro zapojení zdroje

Transformátor	230 V/ 9V 10VA
Usměrňovací můstek	W06M
Kondenzátor C_1	2200 μ F/ 25V
Kondenzátor C_2	100 nF
IO 7805	
Kondenzátor C_3	10 μ F/ 25V
Chladič	

4.2. Detekce nuly

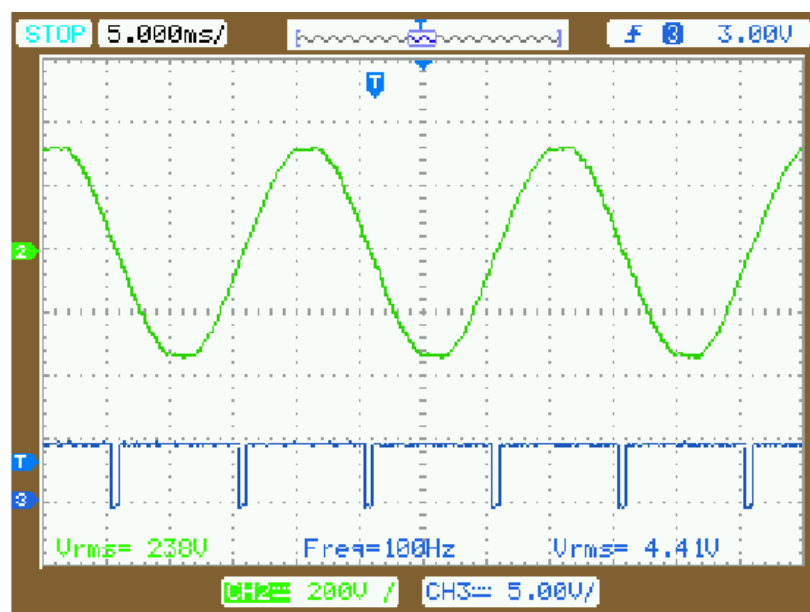
Detekce nuly je pro nabíječku s fázovým řízením nezbytná. Nulou rozumíme bod průchodu střídavého napájecího napětí sítě z kladné půlveiny do záporné. Díky tomuto bodu můžeme správně určit řídicí úhel sepnutí výkonového spínacího prvku, v mém případě to bude tyristor. Tento obvod rovněž zajišťuje galvanické oddělení napájecího napětí od výstupních signálů pomocí optočlenu. Existuje spousta obvodů sloužících jako detektor nuly, použitý obvod má však výhodu v jednoduchosti a minimálním počtu součástek pod vysokým napětím.

Základní parametry obvodu: cca 200 μ s před průchodem nulou přichází výstupní impuls, respektive jeho sestupná hrana. Generované impulsy vytvářejí energetickou ztrátu 200mW při napájecím napětí sítě 230 V / 50 Hz. [6]



Obr. 7 Schéma zapojení detekce nuly

Na vstupní omezovací odpory R_1 , R_2 přivádím napájecí napětí. Hodnota těchto odporů je 120 k Ω , ovšem kvůli vysokému proudu musejí být dimenzovány na ztrátový výkon 2 W. Omezovací rezistory plní funkci snížení vysokého napětí na přijatelnou hodnotu, která dále pokračuje do usměrňovacího můstku. Velikost sníženého a usměrněného napětí prochází zenerovou diodou se zenerovým napětím 22 V. Přes diodu D_2 nabíjím kondenzátor C_1 s kapacitou 470 nF. Nezbytnou součástí je tranzistor T_1 řídící optočlen. Při průchodu nulou klesne napětí na zenerově diodě k nule, dochází k sepnutí tranzistoru, následnému přivedení energie z nabitého kondenzátoru na vysílací diodu optočlenu. Výstupní část obvodu je tvořena tranzistorem implementovaným v optočlenu, posíleným pull-up rezistorem R_5 2200 Ω , na který je přivedeno napětí V_{cc} (5V) pocházejícího z obvodu zdroje. Na obrázku č. 8 vidíme průběh generovaných pulzů v závislosti na průběhu napájecího napětí.



Obr. 8 Průběh detekce nuly

Tabulka 2 - Seznam použitých součástek pro zapojení detekce nuly

Rezistory R_1, R_2	120 k Ω / 2W
Usměrňovací můstek	DB107
Zenerova dioda D_1	BZX83V022
Rezistor R_3	330 k Ω
Dioda D_2	1N4448
Rezistor R_4	220 Ω
Kondenzátor C_1	470 nF/ 50V
Tranzistor T_1	BC327-25 CDIL
Optočlen	CNY17-3
Rezistor R_5	2,2 k Ω

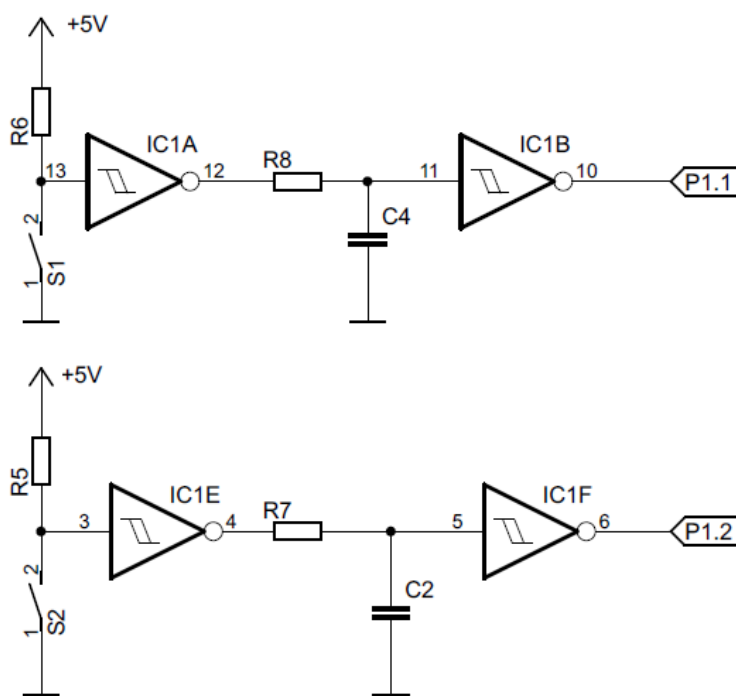
4.3. Řídící část

Slouží k nastavení požadovaného nabíjecího proudu, zobrazení této hodnoty a regulaci proudu pomocí řízení tyristoru. Hlavním komponentem této části je procesor. Pro náročnost nabíječky postačí od firmy Atmel AT89S52. Jedná se o starší typ 8 bitového procesoru obsahující: 8 KB Flash memory, 8b internal RAM, tři 16 bit timer/counters, 32 programovatelných vstupů/výstupů, watchdog timer a mnoho dalších obvodů. Alternativou by byly modernější procesory značky PIC,

které mají implementovanou větší paměť a širší škálu podpůrných obvodů. Rovněž provedení pouzdra SMD by znamenalo zmenšení rozměru výrobku. Starší typ procesoru byl zvolen z důvodu demonstrace jeho dostačujících vlastností pro základní použití.

4.3.1. Tlačítka

Nastavování velikosti požadovaného proudu provádím pomocí dvou tlačítek, jedno na snižování, druhé zvyšování. Pro tento účel jsem zvolil tlačítka bez aretace. Při stisku tlačítka může docházet k jeho zákmitům (několika násobné sepnutí), proto jsem musel tento negativní stav ošetřit. Existují dva typy, první je softwarový, kdy v procesoru testuji stisknutí tlačítek. Použil jsem ovšem druhý typ eliminace zákmitů a to je hardwarové řešení. K tomu jsem využil IO 74HCT14, který má v sobě zabudovaných 6 Schmittových invertorů. Princip zapojení z obr. 9 popíši na tlačítku S1. Při rozpojeném tlačítku se na vstupu invertoru IC1A (vývod 13) objeví logická 1, tedy napájecí napětí přivedené přes rezistor R6. Po stisknutí spínače se stav na vstupu prvního invertoru změní na logickou 0. Na výstupu invertoru je zapojen integrační členek R8 C4, který je tímto invertorem napájen. Jeho vhodně zvolenou časovou konstantou jsem potlačil zákmity tlačítka. Integrační členek ovšem snižuje strmost hran signálu a proto jsem musel volit Schmittův klopný obvod. Následuje druhý invertor IC1B, na jehož výstupu se objeví prostý zákmit tlačítka vstupující do procesoru přes pin jedna portu jedna. V procesoru se tedy při stisknutí tlačítka objeví logická 0.



Obr. 9 Schéma zapojení tlačítek

Tabulka 3 - Seznam použitých součástek pro zapojení tlačítek

Rezistory R ₅ až R ₈	10 kΩ
Kondenzátor C ₂ , C ₄	100 nF
Tlačítka S ₁ , S ₂	P-B1715
IO	74HCT14

4.3.2. Displej

Nastavenou velikost nabíjecího proudu zobrazují na dvou sedmisegmentových displejích reprezentujících jednotky a desetiny proudu. Při zapojení více místných displejů k mikrokontroléru nepřipojuji každou sedmisegmentovku zvlášť na jednotlivé porty, ale z důvodu úspory těchto portů využiji časový multiplex. Jeho realizaci můžeme vidět na obrázku 10. Princip spočívá v zapojení displejů na společnou sběrnici a pomocí ovládacích vodičů, které jsou připojeny na tranzistory, postupně rozsvěcují jednotlivé displeje. Mezi výstup procesoru a sedmisegmentovku jsem vložil dekodér, pomocí kterého rozsvítím jednotlivé segmenty. Čísla teda zobrazují postupně, kdy nejprve na dekodér přivedu kombinaci čísel odpovídající požadované hodnotě prvního displeje a tento displej aktivuji. Chvilí počkám a displej zhasnu, opět chvilí počkám a celou akci opakuji pro druhý displej. Prodlení mezi zhasnutím prvního displeje a aktivací druhého je nezbytné, aby nedocházelo k tzv. podsvícení displeje. Rovněž zobrazování jednotlivých displejů musí být dostatečně rychlé, jinak by lidské oko zaznamenalo, že svítí jen jeden displej. Rychlost zobrazování se udává alespoň 40ms. Absence omezovacích odporů na katodách displeje je způsobena vnitřním zabudováním omezení výstupního proudu v dekodéru. Daný segment je tedy buzen 4x větším proudem než ve statickém režimu, rovněž jas zobrazování je konstantní.

Rozsvícení desetinné tečky na prvním displeji provádím připojením přes omezovací rezistor na nulový potenciál. Tento způsob jsem zvolil z důvodu nepřítomnosti řídicího pinu segmentu v dekodéru. Na obrázku 10 vidíme, že displeje jsou připojeny k portu P0, přičemž spodní 4 bity (P0.0 až P0.3) určují zobrazované číslo a vrchní čtyři bity (P0.4 až P0.7) ovládají aktivaci (logickou nulou) jednotlivých displejů pomocí tranzistorů T1, T2. K jednomu portu lze tedy připojit až 4 displeje.

Výpočet omezovacího rezistoru R13 pomocí vztahu (3):

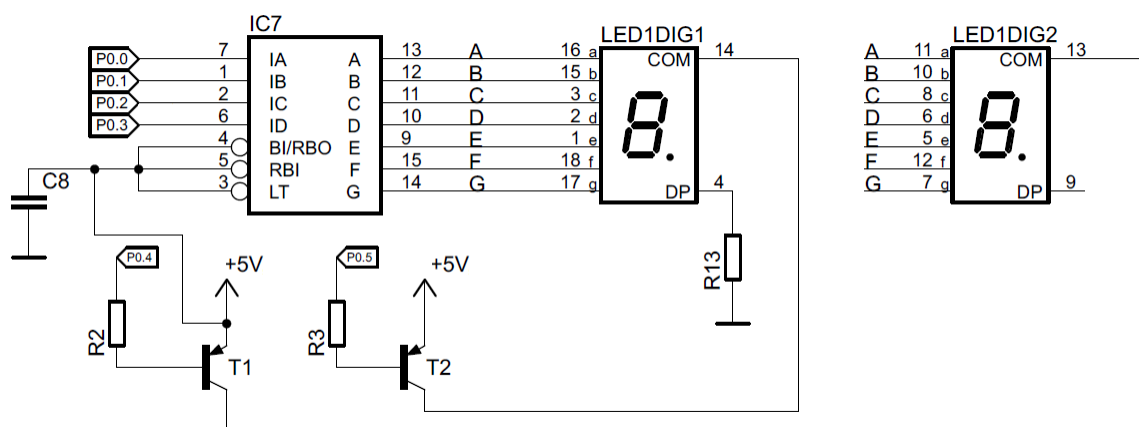
$$R_{13} = \frac{U - U_T - U_{LD}}{I} = \frac{5 - 0,2 - 2}{0,01} = 280\Omega \quad (3)$$

U – napájecí napětí +5V

U_T – úbytek napětí na přechodu tranzistoru

U_{LD} – úbytek napětí na led diodě

I – proud protékající odporem R₁₃



Obr. 10 Schéma zapojení displejů

Tabulka 4 - Seznam použitých součástek pro zapojení displeje

Rezistory R_2 až R_3	4,7 k Ω
Rezistor R_{13}	270 Ω
Kondenzátor C_8	100 nF
Tranzistory T_1 , T_2	BC557C
Dekodér IC7	74LS47N
Displej	HD-A544D

4.3.3. Řízení tyristoru

Spínání tyristoru provádím přivedením řídicího pulzu na gate (řídící elektrodu). Nároky jsou zejména kladeny na strmost nárůstu hrany řídicího pulzu a jeho šířku, aby tyristor přešel z blokovacího do sepnutého stavu. Délka pulzu byla zvolena na 100 μ s. Zpoždění sepnutí tyristoru oproti průchodu nulou síťového napájení se označuje jako řídicí úhel α . S rostoucí velikostí tohoto úhlu klesá velikost výstupního proudu, jelikož tyristor se vypíná po průchodu nulou napájecího napětí. Rozsah řídicího úhlu jsem volil 0 až 170° s rezervou pro zpoždění vypnutí zapříčiněné vnitřními přechodnými ději mezi jednotlivými PN vrstvami.

Priváděné řídicí pulzy jsou od výkonové části z důvodu bezpečnosti galvanicky odděleny. K tomuto oddělení byl použit impulzní transformátor. Další alternativa oddělení je pomocí

optočlenu. Tento způsob ovšem vyžaduje na sekundární části optočlenu zdroj napájení. Z tohoto důvodu byl zvolen impulzní transformátor. Nyní popíšu postup jeho návrhu a realizace.

Impulzní transformátory jsou určeny k přenášení krátkých pulzů, nikoliv dlouhých neměnicích se signálů, při kterých by docházelo k přesycení jádra a následné deformaci přenášeného signálu. Rovněž musím brát ohled na délku přenášeného zapínacího pulzu, jakmile šířka pulzu značně přesáhne velikost doby, kdy žádný pulz nepřenáším, začne docházet k magnetizaci vinutí a krátká doba mezi dvěma přenášenými pulzy nemusí stačit k odmagnetování transformátoru a postupnému přesycení magnetického materiálu jádra.

Jádro transformátoru jsem zvolil hrníčkové, pro jeho uzavřený tvar po obvodu a velmi malý činitel magnetického rozptylu. Při návrhu musím znát několik základních parametrů: hysterezní křivku, jedná se o závislost magnetické indukce B na intenzitě magnetického pole H pro daný materiál, dalším důležitým parametrem je součinitel indukčnosti A_L určující velikosti indukčnosti cívky s jedním závitem o daném rozměru, tvaru a umístění. Posledním parametrem je permeabilita, vyjadřující poměr mezi magnetickou indukcí B a magnetickou intenzitou H . Parametr je specifický pro jednotlivý materiál. S rostoucí hodnotou permeability roste velikost vybuzečné indukce materiálu stejnou intenzitou pole. Při návrhu vycházím z literatury [7].

Rozměry hrníčkového jádra: 26x16 mm

$A_L = 3200 \text{ nH}$ (údaj výrobce)

$S_e = 93 \text{ mm}^2$ (údaj výrobce)

$B = 0,47 \text{ T}$ (údaj výrobce)

Počet primárních závitů určíme pomocí vztahu (4):

$$N_1 = \frac{U_{1max} * t_{1max}}{B * S_e} = \frac{5 * 100 * 10^{-6}}{0,47 * 0,93 * 10^{-4}} = 11 \text{ závitů} \quad (4)$$

U_{1max} – maximální napájecí napětí

t_{1max} – maximální doba zapnutí

Indukčnost primárního vinutí:

$$L_1 = A_L * N_1^2 = 3200 * 10^{-19} * 11^2 = 0,387 \text{ mH} \quad (5)$$

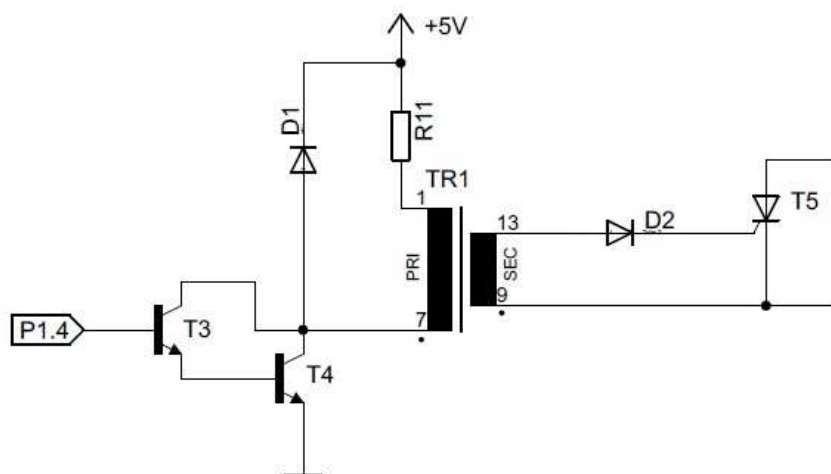
Magnetizační proud:

$$I_{mag} = \frac{U_{1max} * t_{1max}}{L_1} = \frac{5 * 100 * 10^{-6}}{0,387 * 10^{-3}} = 1,29 \text{ A} \quad (6)$$

Počet sekundárních závitů:

$$N_2 = N_1 * \frac{(U_2 + U_D + U_{TL}) * T}{U_{1min} * t_{1max}} = 11 * \frac{8 * 10^{-3}}{4,8 * 100 * 10^{-6}} = 183 \text{ závitů} \quad (7)$$

Při realizaci tohoto návrhu docházelo k přesycování transformátoru, proto jsem na primární části přidal počet závitů $N_1 = 23$ závitů a na sekundární části stačilo pouze $N_2 = 52$ závitů. K těmto počtům jsem došel praktickým odzkoušením. Schéma zapojení impulzního transformátoru společně se spínaným tyristorem je na obrázku 11.



Obr. 11 Schéma zapojení řízení tyristoru

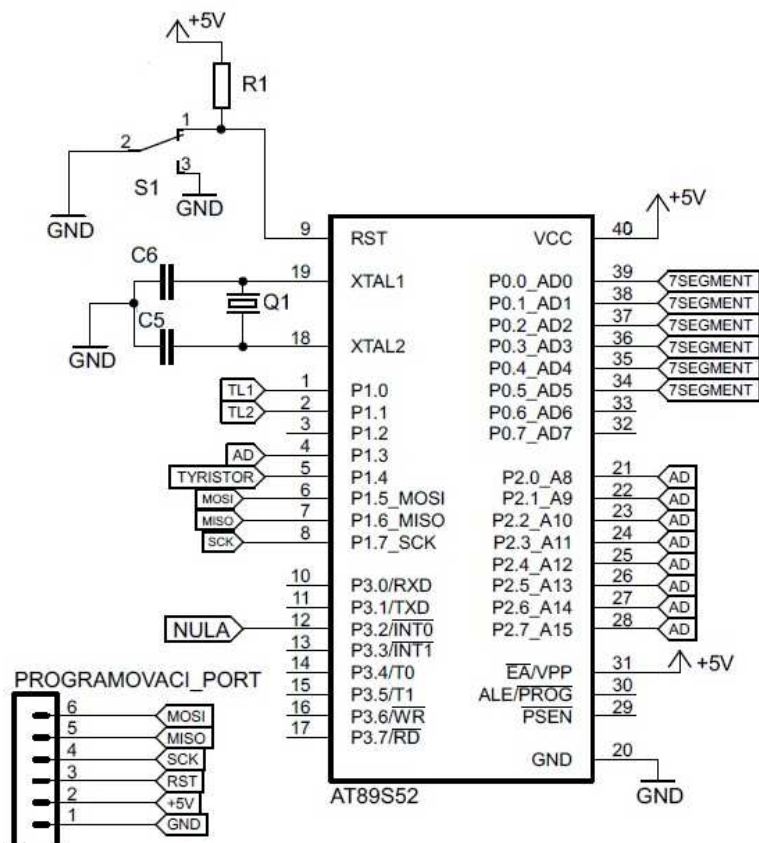
Z procesoru jsou na port P1.4 generovány zapínací pulzy pro tyristor, které vstupují do báze tranzistoru T3. Společně s tranzistorem T4 tvoří darlingtonovo zapojení, toto zapojení jsem použil z důvodů nízkého výstupního proudu procesoru pro sepnutí pouze jednoho tranzistoru. Dioda D1 slouží jako ochranná nulová dioda při vypínání tranzistorů. Jelikož k tranzistoru je připojena indukční zátěž (impulzní transformátor), která působí při vypínání proti změně napětí a dochází tak k napěťové špičce, čímž by hrozilo zničení tranzistorů. Nahromaděná energie se tedy uzavírá přes diodu D1 a tranzistor R11. Dioda D2 usměrňuje výstupní průběh signálu z transformátoru a spínání tyristoru realizují pouze kladnými pulzy.

Tabulka 5 Seznam použitých součástek pro spínání tyristoru

Tranzistor T3	BC337-16
Tranzistor T4	BD139-16
Dioda D1, D2	BA159
Impulzní transformátor	
Tyristor T5	BT151-800R
Rezistor R11	5Ω/2W

4.3.4. Podpůrné obvody procesoru

Pro zajištění správné funkce procesoru je nezbytné zapojení vývodu resetu, který jsem zapojil přes tlačítko, kvůli možnosti programování „on board“. Dále je nutné připojit vnější oscilátor a samozřejmě napájení procesoru.



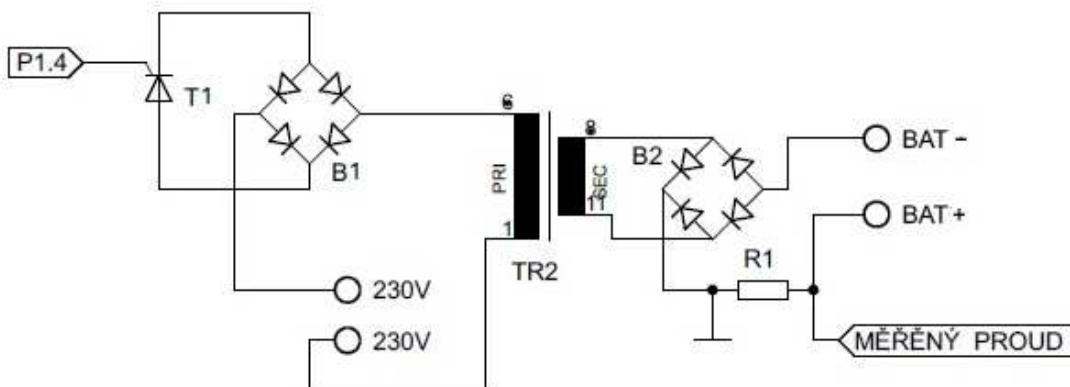
Obr. 12 Schéma zapojení procesoru

Tabulka 6 Seznam použitých součástek pro zapojení procesoru

Procesor	AT89S52
Kondenzátor C5, C6	33pF
Rezistor R1	8200 Ω
Krystal Q1	12MHz
Spínač S1	P-B143-1

4.4. Výkonová část

Jedná se o koncový stupeň nabíječky. Hlavním prvkem tohoto zapojení je transformátor, jehož parametry určují výstupní hodnoty nabíječky, její napětí a maximální nabíjecí proud. Výkonová část je ovládaná spínáním tyristoru, který jsem popsal v předchozí kapitole 4.3.3. Zapojení této části nabíječky je zobrazeno na obrázku 13. Princip je následující: při sepnutí tyristoru dochází k uzavření vnějšího napájení přes usměrňovací můstek B1, které je připojeno na primární vinutí transformátoru TR2. Za sekundární vinutí tohoto transformátoru je zařazen usměrňovací můstek B2, který musí být dostatečně proudově dimenzován na parametry transformátoru. Výstup usměrňovacího můstku B2 je pak přiveden na odpor R1, který slouží jako bočník pro měření skutečného nabíjecího proudu. Z odporu R1 nabíjecí proud dále pokračuje na výstupní svorky nabíječky. Výstup je tvořen dvěma póly (kladným a záporným), které musí být řádně označeny, aby nemohlo dojít k jejich záměně při připojení nabíječky k akumulátoru. Prohození této polarity by znamenalo poškození jak nabíječky, tak i akumulátoru.



Obr. 13 Schéma zapojení výkonové části

Při dostatečné dimenzaci tyristoru a usměrňovacích můstků, můžu pak snadno změnou transformátoru měnit výstupní parametry nabíječky. Musím ovšem brát ohled na mezní parametry spínaného tyristoru, především jeho průrazné napětí. Dimenzování primárního vinutí transformátoru se pak odvíjí od velikosti vnější napájecí sítě. Nesmím ovšem zapomínat na odpor

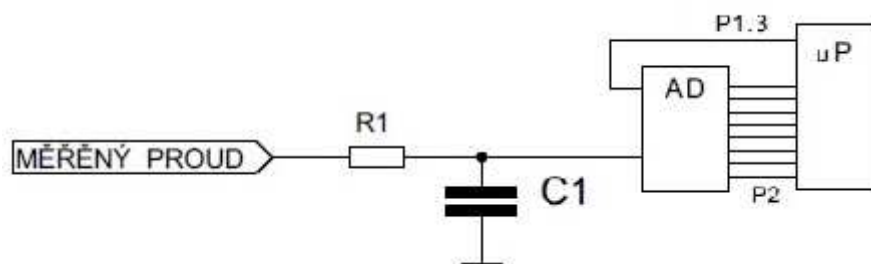
R1, který svou velikostí určuje nabíjecí proud. Rovněž je nezbytné, aby tento odpor byl výkonově dimenzován, jelikož jím bude protékat značný proud.

Tabulka 7 Seznam použitých součástek pro výkonovou část

Tyristor T1	BT151-800R
Diodový můstek B1	8A
Transformátor TR2	JK-ELTRA 2x20V/3,5A
Diodový můstek B2	15A
Rezistor R1	0,47Ω/10W

4.5. Regulace

Slouží k udržení konstantního nabíjecího proudu podle požadované hodnoty. Pro možnost regulace je nezbytná podmínka znalosti velikosti aktuálního nabíjecího proudu, kterou porovnáme s žádanou hodnotou. Měření proudu provádím pomocí odporu, tzv. bočníku. Komunikaci mezi měřeným analogovým signálem a digitálním prostředím procesoru zajišťuje AD převodník. Absenci integrovaného AD převodníku na procesoru jsem nahradil externím AD převodníkem. Mohl jsem si dovolit zvolit paralelní typ, kvůli množství volných pinů procesoru. Velikost převodníku je 8bitová, tedy s 255 rozlišitelnými úrovní dostačující pro rozsah měřeného napětí. Pro jednodušší měření a určení velikosti nabíjecího proudu jsem zařadil před AD převodník integrační RC článek. Výstupem z tohoto RC článku bude konstantní střední hodnota měřeného průběhu. Velikost časové konstanty RC článku jsem zjistil praktickým zkoušením pomocí potenciometru a řady kondenzátorů. AD převodník je pak zapojen dle doporučeného aplikačního schématu výrobce nacházejícího se v datasheetu. Kompletní zapojení obvodu vidíme na obrázku 14. Výpočet regulační odchylky je pak řešen softwarově pomocí procesoru, kde jsem nastavil regulátor typu P. Tento typ je pro nabíječku dostačující, jelikož se zde nejedná o skokové dynamické změny.



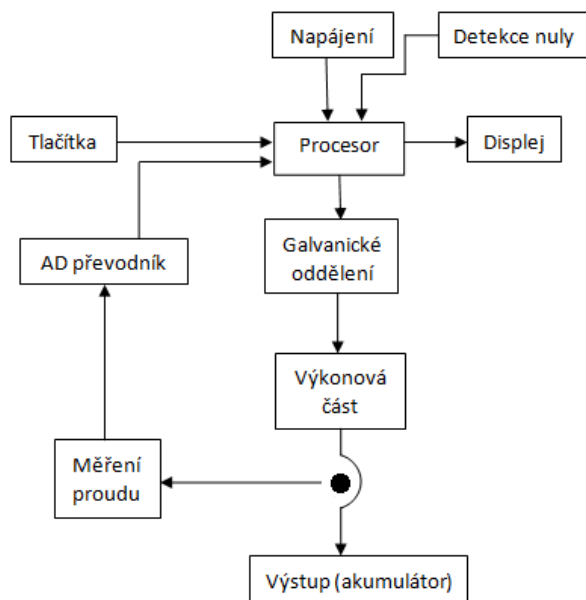
Obr. 14 Schéma obvodu pro zpracování měřeného proudu

Tabulka 8 Seznam použitých součástek pro regulaci

Rezistor R1	5,6k Ω /2W
Kondenzátor C1	10 μ F/25V
AD převodník	ADC0804CN
uP procesor	AT89S52

4.6. Programování

Pro jednoduché pochopení požadavků na program máme na obrázku 15 zobrazeno blokové schéma nabíječky.



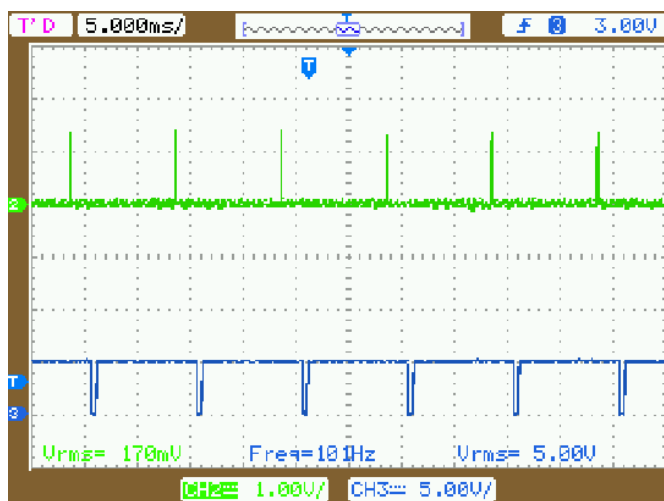
Obr. 15 Blokové schéma nabíječky

Program byl vytvořen v editoru Keil uVision 4 a napsán v jazyce C, který jsem následně pomocí kompilátoru přeložil do HEX tvaru a s využitím programátoru PRESTO nahrál do procesoru. Celý program je obsažen v příloze, kde jsou jednotlivé řádky a jejich funkce stručně okomentovány.

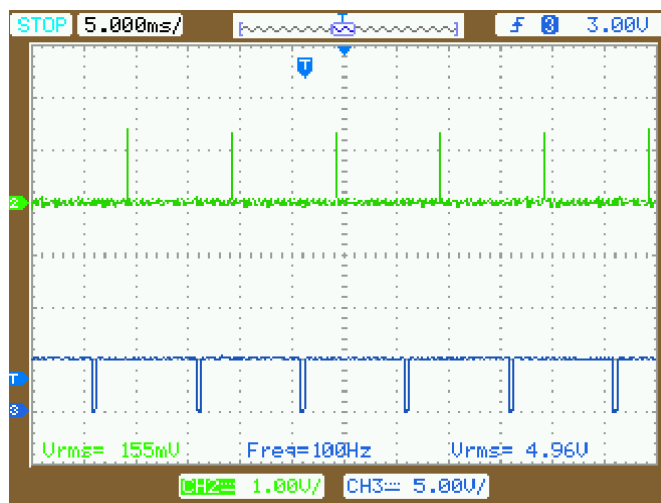
5. Měření, ověření funkčnosti

V poslední části se budu věnovat měření napětí a proudů v jednotlivých částech nabíječky při různé zátěži. Měřením jsem ověřil správnou funkci nabíječky. Pomocí osciloskopu jsem zobrazoval časové průběhy měřených veličin. Naměřené průběhy jsou zobrazeny a popsány níže. Jako zátěž jsem zvolil startovací akumulátor 40Ah/12V. Jelikož jednotlivé kanály osciloskopu mají vnitřně spojenou zem a dílčí části nabíječky jsou galvanicky odděleny, bylo při měření nezbytné použít diferenciální sondu.

5.1. Spínací pulzy tyristoru, signál průchodu napětí nulou



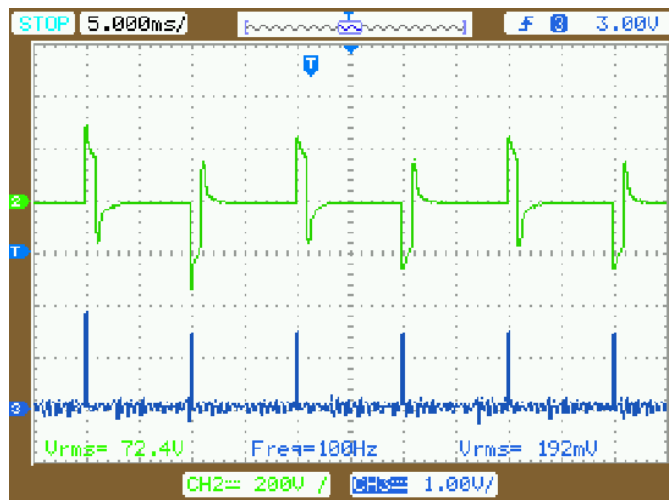
Obr. 16 Změřené průběhy spínacích pulzů tyristoru (CH2-zelený průběh) a signál indikující průchod napětí nulou (CH3-modrý průběh), pro úhel $\alpha = 125^\circ$



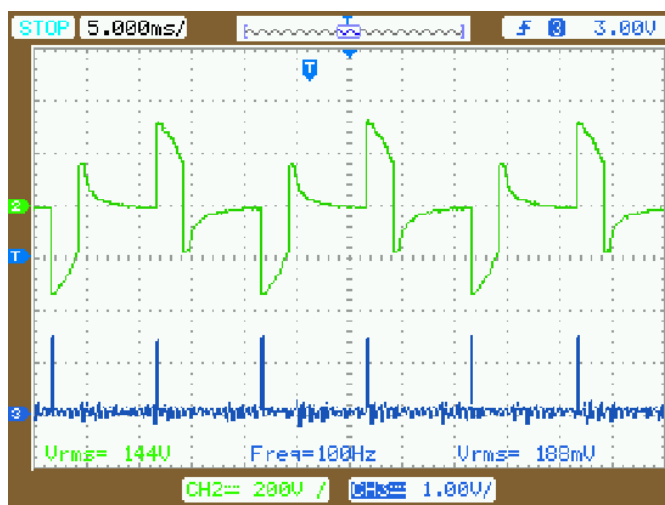
Obr. 17 Změřené průběhy spínacích pulzů tyristoru (CH2-zelený průběh) a signál indikující průchod napětí nulou (CH3-modrý průběh), pro úhel $\alpha = 45^\circ$

Zelený průběh, kanál číslo 2 zobrazuje výstupní napětí pinu P1_4, které slouží k sepnutí tyristoru. Na kanále číslo 3, modrý průběh jsou vykresleny pulzy signalizující průchod napětí nulou. Z naměřených průběhů obr. 16, obr. 17 vidíme, že s požadavkem na zvýšení nabíjecího proudu se zkracuje prodlení mezi signálem indikujícím průchod nulou a vysláním řídicího pulzu pro sepnutí tyristoru. Zmenšují tedy řídicí úhel α .

5.2. Spínací pulzy tyristoru, napětí na primárním vinutí transformátoru TR2



Obr. 18 Změřené průběhy napětí na primárním vinutí transformátoru TR2 (CH2-zelený průběh) a spínací pulzy tyristoru (CH3-modrý průběh), pro úhel $\alpha = 125^\circ$

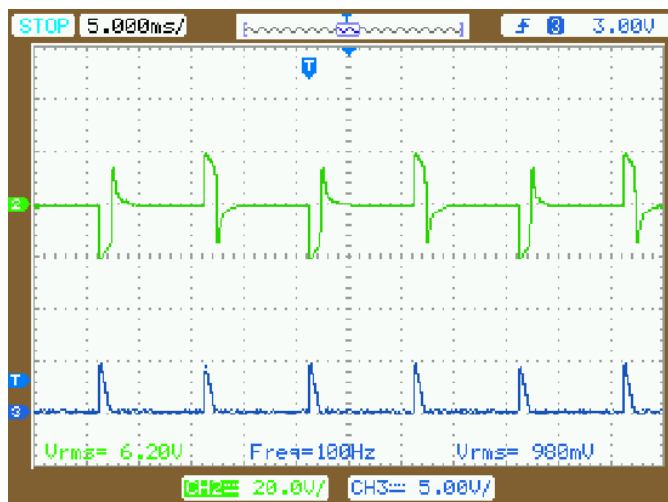


Obr. 19 Změřené průběhy napětí na primárním vinutí transformátoru TR2 (CH2-zelený průběh) a spínací pulzy tyristoru (CH3-modrý průběh), pro úhel $\alpha = 95^\circ$

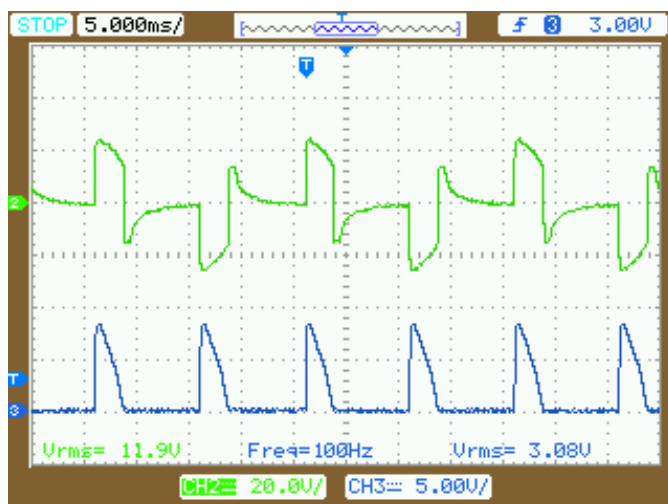
Horní zelený průběh zobrazuje napětí na primární straně transformátoru TR2, spodní modrý průběh, vyznačuje generované řídicí pulzy pro sepnutí tyristoru. Při sepnutí tyristoru dochází k přivedení napájecího napětí na primární cívku transformátoru. Podle doby, kdy se po průchodu napětí nulou sepne tyristor, je určena velikost a tvar napětí na primárním vinutí. Napětí prudce klesne, jakmile dojde k zániku nabíjecího proudu, způsobený poklesem napětí na sekundární straně

transformátoru pod velikost napětí na akumulátoru. Pokles napětí primárního vinutí transformátoru pod nulovou hodnotu je způsoben naindukováním proti napětí na primární cívce.

5.3. Napětí na sekundárním vinutí transformátoru TR2, nabíjecí proud



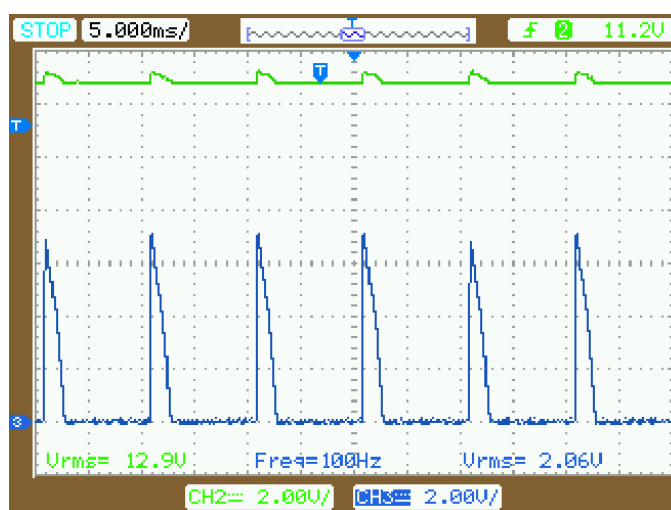
Obr. 20 Změřené průběhy napětí na sekundárním vinutí transformátoru TR2 (CH2-zelený průběh) a nabíjecí proud (CH3-modrý průběh), pro úhel $\alpha = 125^\circ$



Obr. 21 Změřené průběhy napětí na sekundárním vinutí transformátoru TR2 (CH2-zelený průběh) a nabíjecí proud (CH3-modrý průběh), pro úhel $\alpha = 95^\circ$

Zelený průběh reprezentuje napětí na sekundární straně transformátoru TR2, modrý signál znázorňuje průběh nabíjecího proudu. Jakmile napětí znázorněné na kanálu CH2 překročí velikost napětí na akumulátoru, dochází k nárůstu nabíjecího proudu. Při poklesu napětí na sekundárním vinutí dochází ke snížení proudu. Proud zaniká úplně poté, co napětí na sekundárním vinutí transformátoru TR2 klesne pod hodnotu napětí na akumulátoru. Naindukované napětí na transformátoru TR2 způsobí pokles napětí na sekundárním vinutí pod nulovou hodnotu při vypínání. Nabíjecí proud je znázorněn i při záporných půlvlnách napětí, jelikož proud měříme až za usměrňovacím můstkem, který nám záporné půlvlny napětí invertuje do kladných hodnot. Velikost nabíjecího proudu je ovlivněna dobou, kdy je napětí na sekundárním vinutí transformátoru větší než napětí akumulátoru. Tato doba se prodlužuje při snížení prodlení mezi impulzem charakterizujícím průchod napětí nulou a vysláním spínacího pulzu pro sepnutí tyristoru.

5.4. Napětí na akumulátoru, nabíjecí proud



Obr. 22 Změřený průběh napětí na akumulátoru (CH2-zelený průběh) a nabíjecí proud (CH3-modrý průběh), pro úhel $\alpha = 110^\circ$

Průběh na kanálu CH2 znázorňuje napětí akumulátoru, na kanálu CH3 vidíme průběh nabíjecího proudu. Z obr. 22 vidíme, že při pulzech nabíjecího proudu, napětí na akumulátoru mírně vzrůstá. Tento skokový nárůst napětí je však velice malý, vezmeme-li v potaz velikost nabíjecího proudu, akumulátor se teda chová jako poměrně tvrdý zdroj.

6. Závěr

Na začátku bakalářské práce jsem se věnoval seznámením s akumulátory, jejich vlastnostmi a nabíjením. Provedl jsem rozdělení dle typu elektrolytu na dva základní druhy: alkalické a olověné akumulátory. Tyto dvě skupiny akumulátorů dále popisuji. Zaměřuji se zejména na jejich požadavky, co se týče nabíjení a údržby. Následně se věnuji nabíječkám a požadavkům na ně kladených, ať už se jedná o rychlost, účinnost nebo korekci nabíjení. Mezi nejdůležitější parametr nabíječky spadá její charakteristika, proto byly popsány a zobrazeny základní průběhy daných charakteristik. Jedná se o charakteristiky typu U, I a W.

V druhé části bakalářské práce se věnuji zkonstruování nabíječky s fázovým řízením. Jsou zde popsány jednotlivé kroky, které je třeba při samotné konstrukci dodržovat. Rovněž se zde zmiňuji o alternativních řešeních daného problému. Výroba je rozdělena do několika částí, ve kterých jsou vždy zobrazeny schémata zapojení se seznamem použitých součástek, a celý princip zapojení je slovně vysvětlen.

V poslední kapitole ověřuji správnou funkčnost nabíječky na startovacím akumulátoru 40Ah. Ověření jsem provedl pomocí měření časových závislostí napětí a proudů v různých částech nabíječky, při zvyšujícím nabíjecím proudu.

Zhotovená nabíječka akumulátoru s fázovým řízením má univerzální použití. Můžeme jí tedy nabíjet nejrůznější typy a velikosti akumulátorů a to díky jejímu softwarovému řízení. Snadnou úpravou výkonové části a softwaru změníme její výstupní parametry. Nabíječku je možné v budoucnu rozšířit o další zajímavé vlastnosti. Například dvoufázové nabíjení, kdy bychom akumulátor nejdříve vybíjeli a potom nabíjeli. Mezi další inovace může spadat rozpoznání nabíjeného akumulátoru, indikace dokončeného nabíjení a spousta dalších.

Tato bakalářská práce seznamuje se základy akumulátorů, nabíječek a jejich vzájemného propojení. Rovněž výroba nabíječky demonstruje i méně zkušeným konstruktérům propojení hardwarových komponentů se softwarovým prostředím a jejich vzájemnou spolupráci.

7. Literatura

- [1] ARENDÁŠ, Miroslav a Milan RUČKA. *Nabíječky a nabíjení*. 3. upravené vydání Praha: INGARA, 1999. 112 s. ISBN 80-86056-61-9.
- [2] CENEK, Miroslav et al. *Akumulátory od principu k praxi*. 1. vydání Praha: FCC Public, 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0.
- [3] CENEK, Miroslav et al. *Akumulátory a baterie*. 1. vydání Praha: STRO.M, 1996. 149 s.
- [4] MARCONI. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení* [online]. [cit. 2015-03-06]
URL: <http://www.paja-trb.cz/konstrukce/nabijacka_autobaterek/o_aku_a_nabijeni.pdf>
- [5] VALA, Zdeněk. *Nabíjení akumulátorů* [online]. 20. 12. 2008 [cit. 2015-03-14]
URL: <http://www.sossoukyjov.cz/data/File/VY_32_INOVACE_6a04.pdf>
- [6] PANDATRON. *Detektor průchodu napětí nulou* [online]. 24. 9. 2014 [cit. 2015-03-28]
URL: <http://www.pandatron.cz/?3233&detektor_pruchodu_napeti_nulou>
- [7] Mallat J. – Krofta J.. *Stabilizované napájecí zdroje pro mikroelektroniku*. SNTL – nakladatelství technické literatury, ALFA – vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1986, Praha. ISBN 04-530-86